

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-362710
(43)Date of publication of application : 15.12.1992

(51)Int.CI. G05D 3/12
G05D 3/12
// G05B 19/407

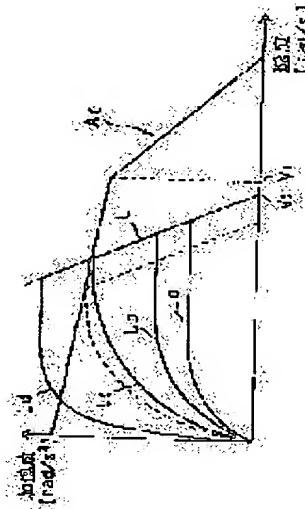
(21)Application number : 03-165037 (71)Applicant : FANUC LTD
(22)Date of filing : 10.06.1991 (72)Inventor : KATO TETSURO
YOSHIDA OSAMU
ARITA SOUICHI

(54) OPTIMUM ACCELERATION/DECELERATION CONTROL SYSTEM FOR SERVO MOTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To extremely shorten the acceleration/deceleration time and then to shorten the recycle time by controlling automatically the acceleration of an acceleration/ deceleration control part in accordance with a target velocity in order to secure the maximum workable torque.

CONSTITUTION: The acceleration of an acceleration/deceleration control part is calculated when a velocity-acceleration curve A_c obtained by subtracting a kinetic friction component from a torque curve of a servo motor touches the velocity-acceleration curves (L_c, L) of the answer of the motor given to a movement command. Based on the calculated acceleration, the acceleration/deceleration control is carried out. Under such conditions, the acceleration α has the optimum value when the velocity-acceleration curve is obtained between a curve L_c and a straight line L . That is, the maximum workable torque of the motor is secured with the curve L_c and the line L . Then the maximum acceleration α is secured for the acceleration/deceleration control part with no follow-up delay caused with the motor. When the acceleration α is decided, the acceleration time (number Q of registers) T_1 of the acceleration/ deceleration control part is obtained as V_0/α from the target velocity V_0 and the acceleration α .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51) Int.Cl.³

G 05 D 3/12

識別記号

厅内整理番号

3 0 6 R 9179-3H

3 0 5 V 9179-3H

/ G 05 B 19/407

K 9064-3H

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3(全9頁)

(21)出願番号

特願平3-165037

(22)出願日

平成3年(1991)6月10日

(71)出願人

390008235
アナツク株式会社山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場3580番
地

(72)発明者 加藤 哲朗

山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場3580番
地 フアナツク株式会社商品開発研究所内

(72)発明者 吉田 修

山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場3580番
地 フアナツク株式会社商品開発研究所内

(72)発明者 有田 功一

山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場3580番
地 フアナツク株式会社商品開発研究所内

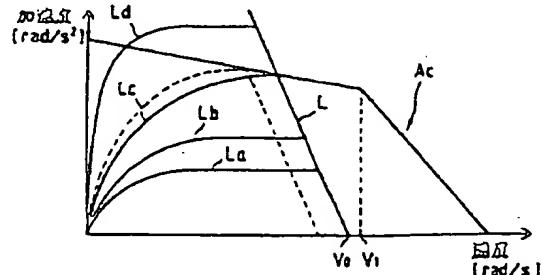
(74)代理人 弁理士 竹本 松司 (外2名)

(54)【発明の名称】 サーボモータの最適加減速制御方式

(57)【要約】

【目的】 モータ使用可能のトルクを最大に利用して加減速制御を行なうサーボモータの加減速制御。

【構成】 モータのトルクカーブから効率損分を差し引いた速度-加速度曲線 A_c に、移動指令に対するサーボモータの応答の速度-加速度曲線 (L_c , L) が接するときの加減速制御部の加速度を求め、この加速度で加減速制御を行なう。モータの使用可能のトルクを最大に利用して加減速を行なうので、加減速時間が短くなり、サイクルタイムを短くする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 移動指令に対して、加減速制御処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにしたサーボモータの最適加減速制御方式。

【請求項2】 移動指令に対して、加減速制御処理しさらにフィルタ処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにしたサーボモータの最適加減速制御方式。

【請求項3】 移動指令による移動量が短く目標速度まで達しない場合には、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上記加減速制御部の加速度を増大させる請求項1若しくは請求項2記載のサーボモータの最適加減速制御方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 工作機械やロボット等の数値制御装置で制御されるサーボモータの加減速制御方式に関する。

【0002】

【従来の技術】 図1は従来から実施されているサーボモータの加減速制御のブロック図である。符号1は移動指令 r_c を加減速制御する加減速制御部で、移動指令を直線的に増大、減少させる直線形加減速制御部、指歎関数的に増減させる指歎関数形加減速制御部が知られている。また、符号2はローパスフィルタで、加減速制御部の出力 r から高周波成分を削除し急激な変化をなくした移動指令としてサーボ系3に出力するものである。

【0003】 従来の形加減速制御においては、上記加減速制御部1の時定数を指令速度(分配速度)に関係なく一定として制御されている(特開昭59-168513号参照)。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 直線形加減速制御で加減速時間を一定とした場合、指令速度(分配周期毎の移動指令)が r_c とすると、加減速制御部に入力される各分配周期毎の移動指令(指令速度)は r_c となり矩形波状に入力され、指令速度 r_c に関係せず、一定の加減速時間(時定数) T_1 で加減速制御され、加減速制御部2

からは図2(a)に示すように出力($r_1 \sim r_4$)され、この信号がフィルタ2に入力され図2(b)に示すように高周波成分がカットされて、サーボ系3に出力されサーボモータを駆動することになる。この場合、図3に示すように、目標速度(指令速度)が小さくなるにつれて加速度が小さくなる。すなわちサーボモータの出力トルクが小さくなる。

【0005】 図3において、横軸はサーボモータの速度、縦軸はサーボモータの加速度で、A.cはサーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて計算した速度-加速度曲線(以下この曲線を加速度曲線という)であり、 $r_1 \sim r_4$ はそれぞれ図2(a)、(b)に示す加減速制御された移動指令(指令速度)に対応する速度-加速度曲線である。さらに、a、b、cの区間は、図2(b)のa、b、cの区間と対応するものである。

【0006】 この図3から明らかのように、移動指令(指令速度) r_c が小さくなるにつれて加速度は小さくなり、サーボモータの使用可能トルクを有効に使用していないという欠点があり、サーボモータの使用可能トルクを有効に使用すれば、目標速度にさらに短い時間で達成させることができるものかわらず、一定の加減速時間で加減速され、時間を要するという問題がある。

【0007】 上記問題を解決する方法として、図4(a)に示すように加速度一定になるように時定数(加減速時間)を変える加減速制御も知られている。この場合、フィルタ2の出力は図4(b)に示すようになり、速度-加速度曲線を求めるとき、図5に示すようになり、最高動作速度でサーボモータの使用可能なトルクにより加速度は制限されてしまうという欠点がある。

【0008】 このように、従来の加減速時間一定もしくは加速度一定の加減速制御ではサーボモータの使用可能トルクを有効に利用して加減速を行なっておらず、最適(最短)の加減速を行なっていない。

【0009】 そこで本発明の目的は、サーボモータの使用可能トルクを考慮し、加減速時間が最短となるような加減速制御方式を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】 移動指令に対して、加減速制御処理して、さらにはフィルタ処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、本発明は、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにした。また、移動指令による移動量が短く目標速度まで達しない場合には、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上

記加減速制御部の加速度を増大させ、その加速度で加減速制御処理を行なうようにした。

【0011】

【作用】モータは、該モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内でそのトルクを出力できる。そのため、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線を求める。該サーボモータの応答の速度-加速度曲線が、モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる加減速制御部の加速度を求め、この加速度で加減速制御を行なう。これにより、モータの使用可能の最大トルクを利用して加減速を行なうことができる。

【0012】また、移動距離が短く、上述の方法で求めた場合でも、目標速度まで達しない場合には、サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上記加減速制御部の加速度を増大させて加速度を決め、この加速度で加減速制御を行なう。

【0013】

【実施例】図1において、フィルタ2の伝達関数を $G_1(s)$ 、サーボ系3の伝達関数を $G_2(s)$ とし、このフィルタ2、サーボ系3の合成伝達関数を $G(s)$ と*

$$v = \frac{1}{Ts + 1} r$$

$$\text{ただし } \begin{cases} r = \alpha \cdot t & (0 \leq t \leq T_1) \\ r = v_0 & (t \geq T_1) \end{cases}$$

まず、移動指令の開始時 $t = 0$ から加減速時間 T_1 完了

$t = T_1$ までの間 ($0 \leq t \leq T_1$) について解くと式 30 【数5】

より、

【0017】

【数2】

$$T \dot{v} + v = r$$

$r = \alpha \cdot t$ を代入し、

【0018】

【数3】

$$v + T \cdot \frac{dv}{dt} = \alpha t$$

$t = 0$ として一般解を求める、

【0019】

【数4】

$$v + T \cdot \frac{dv}{dt} = 0$$

$v = C_1 e^{rt}$ として上式に代入する。なお、 C_1 は係数である。

$$C_1 e^{-t/T} + T \left(\frac{dC_1}{dt} e^{-t/T} - \frac{C_1}{T} e^{-t/T} \right) = \alpha t$$

上記式8より、

*し、この伝達関数 $G(s)$ が1次遅れである場合を考える。すなわち、

$G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s) = 1 / (Ts + 1)$ とする。このことは、フィルタ2が1次遅れ系で、サーボ系3がほとんど遅れがない系、若しくは、サーボ系3が1次遅れ系で、フィルタ2を設けず移動指令 r_c を直接サーボ系3に出力する場合である。

【0014】また、加減速制御部1を直線形加減速制御とし、加減速時間（時定数）を T_1 で、この加減速期間中は、加速度 α で加減速制御し移動指令 r を出し、その後は目標速度 v_0 で移動指令 r を出力するものとする。すなわち、直線形加減速制御部1は $Q(T_1 / \text{移動指令周期})$ 回のレジスタを有し、これらレジスタに記憶する値を順次シフトしながら1番目のレジスタに分配された移動指令を格納し、各レジスタに記憶する値を加算し、 Q で除算して出力 r を出力するものである（特開昭59-168513号参照）。

【0015】サーボモータの出力速度を v とすると、フィルタ2をも含めた入出力関係（移動指令 r_c に対するサーボモータの出力速度 v の関係）は式1になる。

【0016】

【数1】

$$C_1 e^{rt} + T \alpha C_1 e^{rt} = 0$$

上記式より、一般解は、

【0021】

【数6】

$$v = C_1 e^{-t/T}$$

次に、定数変化法により特解を求める。係数 C_1 を時間 t の関数と考えると、

【0022】

【数7】

$$\dot{v} = \frac{dC_1}{dt} e^{-t/T} - \frac{C_1}{T} e^{-t/T}$$

上記式と一般解の式6を式3に代入すると、

【0023】

【数8】

50 【0024】

5

【式9】

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{1}{T} e^{-t/T} \alpha t$$

【0025】

【式10】

$$C_1 = \int \frac{1}{T} e^{-t/T} \alpha t dt$$

【0026】

【式11】

$$C_1 = \alpha e^{-t/T} t - \alpha T e^{-t/T} + C_2$$

となり、待解は、

【0027】

【式12】

$$v = C_2 e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

となる。なお、ここで C_2 は積分定数である。上記式12及び式6より

【0028】

【式13】

$$v = C e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

なお、 $C = C_1 + C_2$ である。そして、 $t = 0$ の時、 $v = 0$ であるので、式13より、 $C = \alpha T$ となり、式3の解は、

【0029】

【式14】

$$v = \alpha T e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

となる。またモータの加速度 A は式14を微分して、

【0030】

【式15】

$$A = \alpha - \alpha e^{-t/T}$$

次に、速度と加速度の関係を求める。まず、式15より、

【0031】

【式16】

$$t = -T \ln \left(\frac{\alpha - A}{\alpha} \right)$$

上記式16を式14に代入することによって次の式17の速度と加速度の関係式が求められる。

【0032】

【式17】

$$v = -\alpha T \ln \left(\frac{\alpha - A}{\alpha} \right) - TA$$

次に $t \geq T_1$ の範囲について第く。式1に $r = v_0$ を代入し第くと、

【0033】

【式18】

6

$$v = C_2 e^{-t/T} + v_0$$

上記式18を微分してモータの加速度 A を求めると、

【0034】

【式19】

$$A = -\frac{C_2}{T} e^{-t/T}$$

上記式18、19より、 $t \geq T_1$ の範囲における速度 v と加速度 A との関係は

10 【0035】

【式20】

$$v = -TA + v_0$$

となる。上記式17及び式20において、 T はフィルタ2及びサーボ系3の伝達関数 $G(s)$ の時定数であり、フィルタ、サーボ系が決まれば、一律的に決まる値であるので、式20は目標速度 v_0 が決まれば、速度-加速度曲線は一律的に決まり、図6に直線として示されるようになる。また、式17は加減速制御部の加速度 α によって変動し、式17のグラフは加速度 α が大きいほどモータの加速度 A は大きく、大きなトルクを出力することになる。図6のL aは加速度 α が小さいときの式17の速度-加速度カーブで、L b、L c、L dは順次加速度 α を大きくしたときの式17の速度-加速度カーブを示すものである。この図6で示されるように、目標速度が v_0 のときには、式20で決まる速度-加速度直線と式17で加速度 α によって決まる速度-加速度カーブのL a～L dの1つで決定される速度-加速度曲線が得られ、この速度-加速度曲線とモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いた加速度曲線A

20 cが接するときが、モータが使用可能のトルクを最大限に利用したものとなる。

30 【0036】図6では、カーブL cと直線の速度-加速度曲線を得るときの加速度 α が最適値となる。すなわち、カーブL aと直線、カーブL bと直線では、モータが有する使用可能のトルクを十分に利用しておらず、カーブL dと直線ではモータの使用可能のトルク以上のトルクを利用しなければならず、モータは追従しなくなる。しかし、カーブL cと直線では、モータの使用可能のトルクを最大限に利用できるもので、モータの追従遅れもなく、最適の加減速制御部の加速度 α となる。そして、加速度 α が決まれば、目標速度 v_0 とこの加速度 α より加減速制御部1の加減速時間(レジスタの数Q) T_1 は v_0 / α として求められる。40 【0037】また、上述のようにして加減速制御部1の加速度 α 、加減速時間 T_1 を求めて、移動指令における移動量が短い場合には、決定された加速度 α で加速しても目標速度 v_0 に到達しないまま減速される場合が生じ、最適加速度にならない場合がある。このような場合には、移動距離 S と決定された加速度 α より、到達可能最高速度 v_m を求め、この到達可能最高速度 v_m を目標

7

速度として、再度上述した方法で加速度 α を求める。さらに到達可能最高速度 v_m を求める上記処理を数回行なって到達可能最高速度 v_m が目標速度 v_0 に近付くようになる。例えば、図7(a)に示すような加速度 α が求められ、この加速度 α で加減速制御を行なったとき移動距離が短く、図7(b)に示すように目標速度まで達しないときには、この加速度 α と移動距離 S より、到達可能最高速度 v_m を次の式21で求める。

【0038】

【式21】

$$v_m = \alpha \cdot S$$

そして、この到達可能最高速度 v_m が目標速度 v_0 に達しないときには、この到達可能最高速度 v_m を目標速度とし上述の方法で、再度加速度 α を求める。この場合、図6に破線で示すような速度-加速度曲線が得られることになり加速度 α は増大することになる。以下、上述した処理を数回行なって到達可能最高速度 v_m が目標速度 v_0 に近付くよう加速度 α を決める。

【0039】図8は移動指令を出力するサーボモータの制御装置、例えば数値制御装置のプロセッサが移動指令の分配周期毎実施する本発明を適用した加減速制御のフローチャートである。

【0040】まず、数値制御装置に、使用するサーボモータのトルクカーブから効率損分を差し引いた速度-加速度曲線である加速度曲線A_cの式を予め設定記憶させておく。例えば、図6に示す加速度曲線A_cの速度0から速度 v_1 までの直線式と速度 v_1 から加速度0までの直線式を設定記憶させておく。また、フィルタ2を含むサーボ系の伝達関数G(s)の時定数Tを求めて、この時定数Tとさらに加減速制御部1の加速度 α をパラメータとする式17、及び上記時定数Tと目標速度 v_0 で決まる式20を設定記憶させておく。

【0041】そして、数値制御装置のプロセッサは図8に示す処理を所定周期(分配周期)毎実施する。まず、動作プログラムの1ブロックの移動が完了したとき「0」にセットされるフラグFが「0」か否か判断し(ステップS1)、始めは初期設定で「0」であるので、ステップS2に進み、動作プログラムから1ブロックを読みだし、移動指令の移動距離S、及び指令速度 v_0 を読み取り、各周期毎の移動指令rcを求める。次に、カウンタCNが「1」にセットし(ステップS3)、読み取った指令速度 v_0 によって決まる式20の速度-加速度直線Lと加速度カーブA_cとの交点 $(v, A) = (v_t, A_t)$ を求める(ステップS4)、式17の v, A に v_t, A_t を代入して加速度 α を求める(ステップS5)。

【0042】次にステップS2で読み取った移動距離SとステップS5で求めた加速度 α より式21の演算を行なって到達可能最高速度 v_m を求める(ステップS6)、該到達可能最高速度 v_m が指令速度(目標速度)

8

v_0 以上か否か判断し(ステップS7)、移動距離Sが長く、到達可能最高速度 v_m が指令速度 v_0 以上であれば、ステップS9に移行し、指令速度 v_0 をステップS5で求めた加速度 α で除して加減速時間(時定数)T1、すなわち、レジスタQの数を求め(ステップS9)、移動指令rcを加減速制御し(ステップS10)、さらにフィルタ処理を行なって(ステップS11)得られる移動指令rcをサーボ側に出力する(ステップS12)。

【0043】そして、目標位置まで達したか否か判断し(ステップS13)、達してなければ、フラグFを「1」にセットし(ステップS15)、当該周期の処理を終了する。次の周期では、フラグFが「1」であるのでステップS1からステップS10に移行して移動指令rcの加減速処理、及びフィルタ処理を行ない、目標位置に達するまで(ステップS1, S10~S13, S15の処理を各周期毎行なう。そして、ステップS13で目標位置に達したことが検出されると、フラグFを「0」にセットする(ステップS14)。その結果次の周期では、ステップS1からステップS2に移行し、次のブロックの移動指令を読み出し、前述したステップS3以下の処理を実行する。

【0044】また、ステップS7で、ステップS6で求めた到達可能最高速度 v_m が目標速度 v_0 より小さい場合、すなわち、移動距離Sが短く、ステップS5で求めた加速度 α では、目標速度に達しない場合には、カウンタCNが設定値Nに達しているか否か判断し(ステップS8)、達していない場合は、カウンタCNに「1」を加算し(ステップS16)、ステップS6で求めた到達可能最高速度 v_m を目標速度とし(ステップS17)、ステップS4に戻り、再びステップS4以下の処理を行なって加速度 α 、到達可能最高速度 v_m を求める。この到達可能最高速度 v_m が指令された目標速度 v_0 に達するか、もしくは、カウンタCNが設定値Nになるまで、ステップS4~S8, S16, S17の処理を繰り返す。そして、ステップS7で指令速度 v_0 以上になったことが検出されるか、ステップS8でカウンタCNが設定値Nに達したことが検出されると、ステップS9に移行し、前述したように、求められた加速度 α で指令速度 v_0 を除して加減速時間T1を求め、移動指令rcに対し加減速処理、フィルタ処理を行なってサーボ側に移動指令として出力する。

【0045】以上のようにして、モータの使用可能トルクを最大限に利用し、加減速時間を最小にする。それにより、サイクルタイムを大幅に短縮することができる。

【0046】上記実施例では、フィルタ2を含めたサーボ系の伝達関数を1次遅れで近似した例を説明したが、2次、3次とN次遅れの伝達関数で近似される場合でも、図6に示すように、加速度曲線A_cに、近似された制御系における速度-加速度曲線が接する加速度 α を求

50

9

めるようにすればよい。さらに、上記実施例では、加減速制御部を直線形加減速制御で構成した例を説明したが、指歎形加減速でもよく、この場合でも、制御系における速度-加速度曲線を求め、この曲線が加速度曲線A.cに接するときの加速度(時定数)を求めるようすればよい。

【0047】

【発明の効果】本発明においては、目標速度(指令速度)に合わせ、使用するサーボモータの使用可能トルクを最大に使用できるように加減速制御部の加速度(時定数)を自動調整するようにしたので、加減速時間が大幅に減少し、その結果サイクルタイムを大幅に短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】サーボモータの加減速制御のブロック図である。

【図2】加減速時間一定の直線形加減速処理後の移動指令及びフィルタ処理を行なった後の移動指令の説明図である。

【図3】モータの加速度曲線と、加減速時間一定の直線

10

形加減速制御における速度-加速度曲線との関係を説明する説明図である。

【図4】加速度一定の直線形加減速処理後の移動指令及びフィルタ処理を行なった後の移動指令の説明図である。

【図5】モータの加速度曲線と、加速度一定の直線形加減速制御における速度-加速度曲線との関係を説明する説明図である。

10

【図6】本発明の実施例における加減速制御部の加速度の求め方を説明する説明図である。

【図7】移動距離が短いときの到達速度を説明する説明図である。

【図8】本発明の一実施例における所定周期毎のサーボ系への移動指令出力処理のフローチャートである。

【符号の説明】

1 加減速制御部

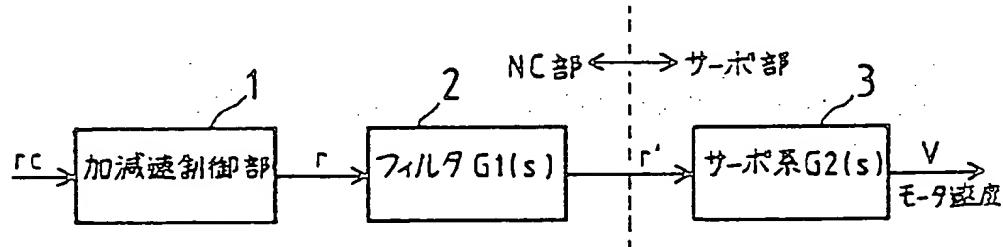
2 フィルタ

3 サーボ系

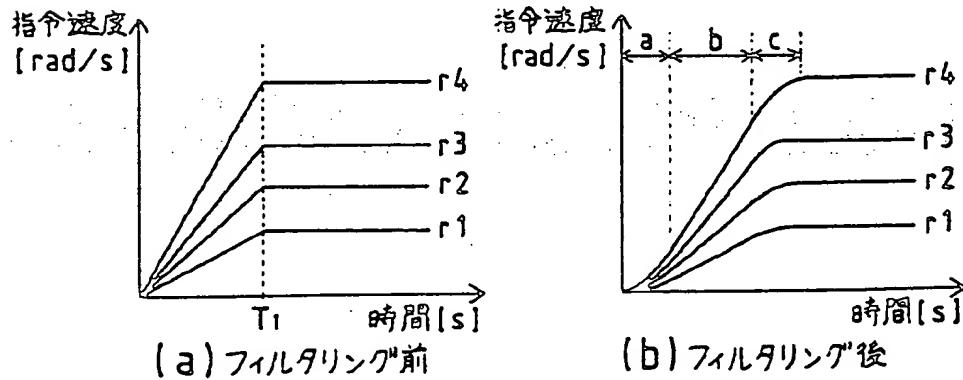
A.c モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いた速度-加速度曲線(加速度曲線)

20

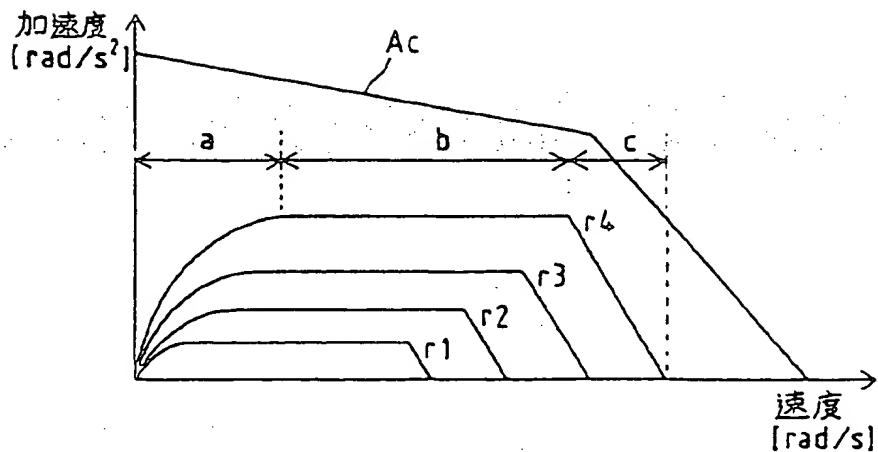
【図1】



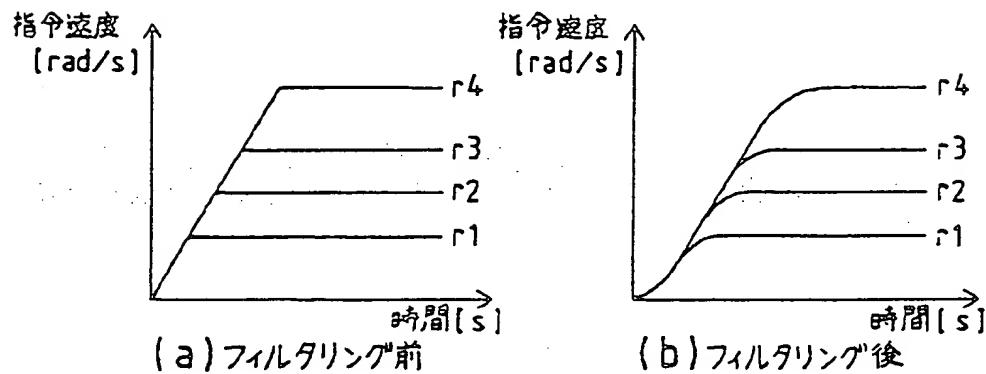
【図2】



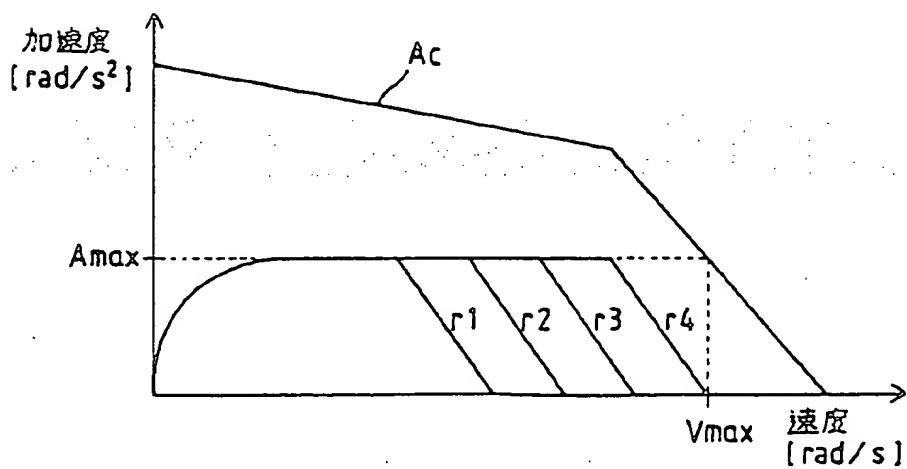
【図3】



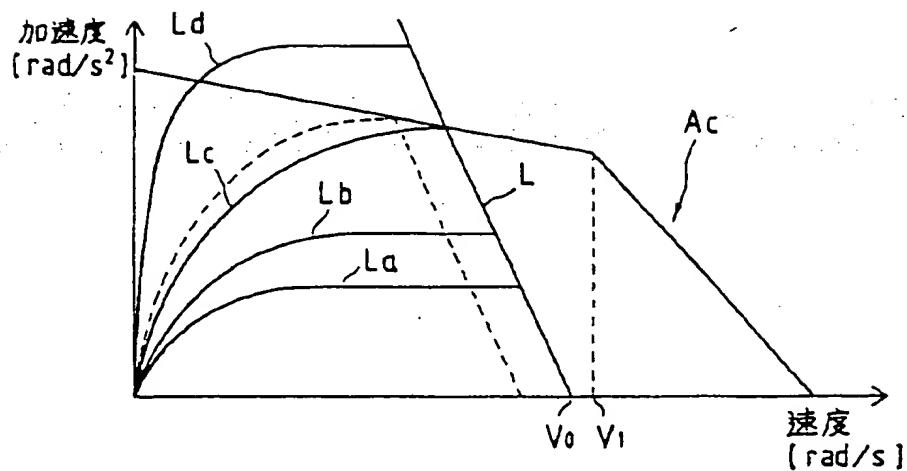
【図4】



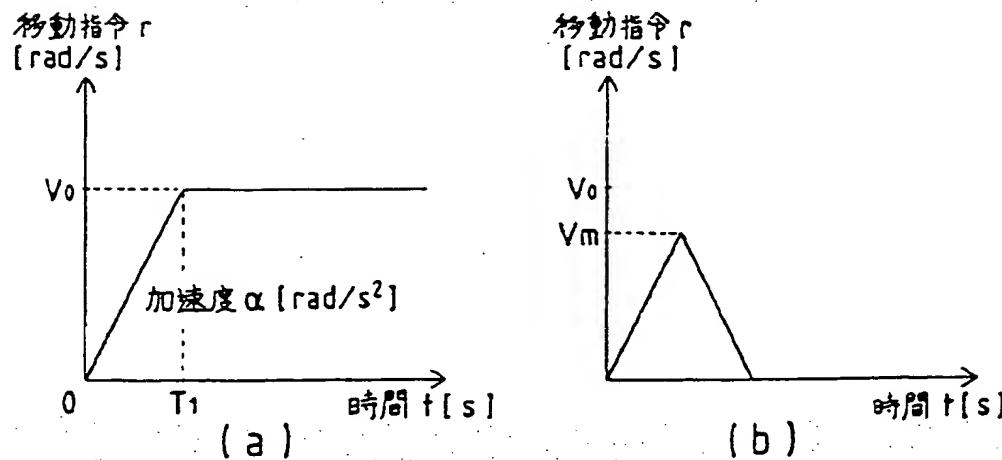
【図5】



[図6]



[図7]



[図8]

